全球固态锂离子电池创新及专利报告

目录

	页面
执行摘要	4
关于作者	5
简介	5
• 本报告重点领域	5
• 固态锂离子电池组件	6
固态锂离子电池市场现状	7
• 固态和半固态锂离子电池供应商（工业生产和/或广泛抽样）	7
从利基电子产品到大规模电动汽车应用的途径	8
• 市场进入和上市时间预测用于电动汽车的固态或半固态电池	9
• 提高 EV 电池组能量密度的四个步骤	10
基于机器学习的商业相关专利识别	12
• 2019 年以来商业相关专利家族的数量（186 家公司）	12
技术决策树	20
• 固体电解质 - 类型	20
• 固体电解质 - 概念	21
• 固体电解质 - 结晶氧化物	22
• 固体电解质 - 磷酸盐	23
• 固体电解质 - 氧化物/氢氧化物玻璃	23
• 固体电解质 - 硫化物	24
• 固体电解质 - 减少硫化氢排放	25
• 固体电解质 - 有机聚合物	26
• 固体电解质 - 卤化物	26
• 薄膜电池用固体电解质	27
• 锂盐	27
• 增塑剂	28
• 液体电解质成分（不含增塑剂）	28

© b-science.net LLC

- 固体电解质添加剂 29
- 固体电解质粘合剂 29
- 负极材料 30
- 正极材料 31
- 电极添加剂 32
- 电极粘合剂 33
- 电池设计 34
- 电池设计 - 概念 34
- 模块 35
- 包装材料 35
- 可靠性 36
- 应用 37
- 沉积工艺 38

技术差距评估 - 液体与半固体与固体电解质 38

- 固有安全性 - 主要风险因素 39
- 能量密度 - 正极和负极材料选择 40
- 功率密度 - 固体电解质的离子电导率 42
- 使用寿命 - 裂纹形成和化学不稳定性的风险 45
- 电池尺寸 46
- 原材料和制造过程 - 成本 46

预测（到 2026 年） 48

公司评估 49

- 固态锂离子电池供应商（量产或用于认证目的的广泛抽样） 49
    - 村田制作所 49
    - TDK/ATL 54
    - 赣锋锂业/浙江锋锂 60
    - 辉齐新能源 62
    - 日本碍子 69
    - 清陶昆山新能源材料/江苏清陶能源科技/宜春清陶能源科技 73
    - FDK/富士通 78
    - WeLion/卫蓝新能源 81
    - 太阳诱电 84

© b-science.net LLC

- 日立造船/日立造船 86
- Blue Solutions 89
- I TEN 93
- Ilika Technologies 95
- Front Edge Technology 102
- Cymbet 103

· 潜在的固态锂离子电池供应商 105

- 丰田 105
- LG化学/LG能源解决方案/LG电子 117
- 松下 123
- 三星 131
- 蜂巢能源科技/Fengchao Energy Technology/Honeycomb Energy 134
- 现代汽车/起亚汽车 137
- 比亚迪 143
- 日产/雷诺/三菱汽车 145
- 精工爱普生/精工仪器 148
- QuantumScape/大众 150
- 东芝 156
- 宁德时代新能源 (CATL) 158
- PolyPlus 162
- Factorial Energy/Lionano/林奈新能源 165
- Solid Power 168
- Ionic Materials 170
- SES Holdings / SolidEnergy Systems 172
- BrightVolt 174

· 材料和技术供应商（当前和未来） 176

- 富士胶片 176
- 昭和电工（包括日立化成） 177
- 三井矿业金属 178
- JX日矿日石金属 181
- Hydro Québec 183
- 巴斯夫 187
- 小原 189
- Ampcera 191

专利更新中涵盖其他公司的专利 191

© b-science.net LLC

专利分析方法与验证 197
缩略语表 197
免责声明 200

关于作者

Pirmin Ulmann 于2004年获得瑞士苏黎世联邦理工学院颁发的化学硕士学位，并于2009年获得美国西北大学的博士学位。 此后，他成为东京大学ERATO学术工业项目JSPS（日本学术振兴会）的外国研究员。 从2010年到2016年，在瑞士一家大型电池材料制造商工作期间，他是7项锂电池相关专利族的共同发明人。 他还负责与Paul Scherrer Institut (PSI，瑞士保罗谢勒研究所)合作，为公司战略部门评估外部技术，并与客户访问东亚、北美和欧洲的电池制造商。 他拥有斯坦福认证项目经理（SCPM）的证书，他参与撰写的科学论文有1700条以上引文。

简介

本报告重点领域

本报告讨论了主要固态锂离子电池公司正在评估的技术选择，以推出适用于各种应用的商业产品，特别是电子产品和电动汽车。该分析基于一种独特的机器学习支持的筛选方法，用于识别具有高度预期商业相关性的专利申请，并将其与公开声明（包括电池会议）进行比较。

对固态锂离子电池技术决策树的理解，有助于确定尚未探索的有前景的未来研发方向。

主要商业参与者的专利组合分为 6 类：

- 1级） **电池材料和电极专利**
- 2级） **电池专利**
- 3A级） **模块和包装专利**
- 3B级） **申请专利**
- 3C级） **可靠性专利**
- 3D级） **制造专利**

涵盖所有这些类别的专利组合通常反映了大量的产品开发工作，解决了成功发布所需的所有方面。对于丰田，还讨论了一项与硫化物电解液电池回收相关的关键专利。

2021 版中新增的公司章节以及大幅更改的数字/表格和表格/决策树中的新条目以红色标记。

© b-science.net LLC

对于定制的专利搜索，用户可以在 b-science.net 上使用用于撰写此报告的机器学习模型。

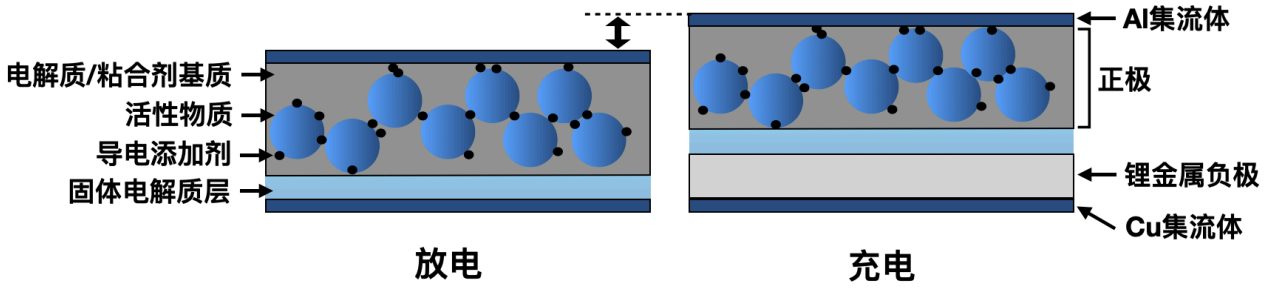
固态锂离子电池组件

图 1 显示了带有锂金属负极的固态锂离子电池的不同组件。每个电池包含一个正极、一个负极，以及一个离子导电、电隔离的固体电解质层将这两个电极隔开（有时，固体电解质层也包含液体）。通常，在具有固体电解质的电池中不使用聚合物隔膜（图 28中列出了例外情况）。

在图 1 所示的电池设计中，电池的厚度在每次充电/放电循环期间都会发生显着变化。通过以可吸收锂离子的硅或碳活性材料颗粒形式或以具有用于锂金属沉积的侵入体的集流体箔形式，提供具有相对恒定体积的基质，可减少循环期间电池厚度的变化

正极包含活性材料颗粒（例如 NMC、LCO）以及导电添加剂（例如炭黑、碳纳米管、碳纳米纤维）和（完全固体或部分液体）电解质/粘合剂基质，提供锂离子进入活性材料颗粒足够的内聚力/粘附力以避免裂纹形成。
必须避免的一个风险是锂金属枝晶穿透固体电解质层，无论是在电池的中间还是边缘（短路的风险）。

图 1：带有锂金属负极的固态锂离子电池



固体与液体电解质的优点：

- 提高了安全性，因为没有泄漏有毒、易燃或易爆的液体电解质。
- 提高能量密度并降低活性材料成本，因为可以在电极中使用更广泛的高能量材料，而化学降解的风险更小（例如正极中的锰浸出，负极中过多的 SEI 层形成）。

固体与液体电解质的弱点：

- 除了少数例外，固体的离子传导性低于液体，这限制了快速放电性能。
- 固体电解质中机械裂纹的形成会导致老化。

© b-science.net LLC

当今固态锂离子电池市场

表 1 显示了已经量产、已宣布开始量产或可提供样品和认证的固态锂离子电池。

对于电子应用，超过 10 家供应商已经瞄准了从微型电池（几 μA，厚度小于 1 毫米）到工业特种电池（电池容量高达约 50 Ah）的范围，通常基于卓越的安全性作为独特的销售主张. 目前，似乎只有Blue Solutions生产的(105 Ah)电池在80 °C下运行于戴姆勒和其他公司的电动大巴里。

表 1：固态或半固态锂离子电池供应商（工业生产和/或广泛抽样）；颜色标签：蓝色：基于氧化物/磷酸盐的电解质（可能含有聚合物）； 咖啡色：硫化物电解质（可能含有卤化物）； 蓝绿色：基于卤化物的电解质； 紫红色：基于聚合物的电解质

公司	国家	进入市场的年份	类型 - 产品/技术页面 - 应用
16个条目			

从利基电子产品到大规模电动汽车应用的途径

在 30 年的时间跨度中，液态电解质锂离子电池技术已经从电子（约 100 Wh）发展到 EV（>30 kWh）和固定储能（高达 1,600 MWh）应用。

几家专注于含氧化物固体电解质的公司（赣锋锂业、ilika、辉齐新能源、昆山清陶、卫蓝）已经从利基电子应用开始，并基于迄今为止获得的知识尝试向电动汽车应用扩展。QuantumScape （氧化物）、蜂巢能源（具有液体电解质层的氧化物）、东芝（磷酸盐）可以从技术角度选择采用类似的方法，但由于现有的商业重点是电动汽车相关应用，因此似乎没有这样做。

日立造船 和 PolyPlus 似乎是唯一尝试先在工业专业应用（例如航空航天）中部署小规模硫化物电池，以积累更大规模 EV 应用经验的公司。

从作者的角度来看，按照从小规模到大规模应用的上市逻辑，以下几种技术还存在些不可行性：

- **因为基于硫化物的电池需要完美的回收率：**由于与水接触时有毒硫化氢气体排放的风险，硫化物电解质不适合消费电子应用，因为需要基于专用工艺的完美回收率来确保永远不会与水接触。除非确定硫化物与水接触时不释放硫化氢气体，许多参与者在硫化物相关产品开发方面的努力是否能取得成功（巴斯夫、Blue Current、比亚迪-硫化物路线、宁德时代、赣锋锂业-硫化物路线、通用汽车-硫化物路线、现代/起亚、JX日矿日石金属、LG-硫化物路线、三井金属矿业、日产/雷诺/三菱汽车、松下-硫化物路线、PolyPlus、三星、Solid Power、天津巴莫科技、

© b-science.net LLC

丰田）取决于他们能否让每个电池在其整个生命周期内保持在受控环境中。

- **因为薄膜和 MLLC 制造不容易扩大规模：**ilika 在其 EV 项目中专注于氧化物材料，但与通过真空沉积获得的 Stearax 微型薄膜电池相比，该技术非常不同，不容易扩大-缩放。出于同样的原因，Cymbet 和 Front Edge Technology 似乎没有将他们的薄膜技术扩展到微型应用之外的雄心。电泳 (I TEN) 和 MLCC 型（富士通/FDK、村田制作所、NGK 绝缘体、TDK、太阳诱电）技术特性也可能会阻止小尺寸电池（<100 mAh）以外的扩展。

- **因为安全风险可能会阻碍电动汽车领域的应用：**就 BrightVolt、Factorial、SES 和 LG（二氧化硅路线）而言，目前尚不清楚电池是否仍将用于无人航空航天等利基应用，或者是否可以证明足够的安全性用于更大规模的电动汽车应用，因为锂金属与液体小有机分子有接触。

表 2 总结了固态电池电动汽车领域的当前动态。

表 2：固态或半固态电池电动汽车的市场准入和上市时间预测；颜色标签：蓝色：基于氧化物/磷酸盐的电解质（可能含有聚合物）；咖啡色：基于硫化物的电解质（可能含有卤化物）；蓝绿色：基于卤化物的电解质；紫红色：基于聚合物的电解质

公司	国家	年	（潜在）技术/合作伙伴
16个条目			

提高 EV 电池组能量密度的四个步骤

图2说明了从长远来看，锂金属电极与双极电池架构的结合如何提供最高的预期EV包能量密度。然而，就目前而言，技术挑战仍然太高，无法通过大规模的商业研发直接实现这一目标。

因此，对于解决部署锂金属负极的技术挑战（Blue Solutions 已经通过让电池在 80 °C 下运行来解决，而比如 QuantumScape 正以此为目标），不同的参与者做出了不同的决定。或者用含硅负极的双极电池，这样不易形成锂枝晶，由其是在电极边缘（辉能特别以此为目标）。

© b-science.net LLC

基于机器学习的商业相关专利识别

b-science.net 开发了一种有监督的机器学习方法来评估专利的商业相关性，并结合自动翻译框架来确保识别非英语专利。该方法经验证如附录所示。 通过这种方法，我们可以全面识别和分类活跃于商业固态锂离子电池研发的组织。在这项研究中，主要关注点是商业/私人公司，包括公共/私人合作。

在表 3 中，列出了 186 家公司的商业相关专利家族的数量。对于拥有 4 个或更少同族专利的公司，并非所有已识别的公司都包含在此表中。Excel 文件可用于所有已识别的同族专利。

表 3：自 2019 年以来商业相关专利家族的数量（186 家公司）

公司	国家	2019	2020	2021（截至6月3日）	总计	与公司联合申请专利
丰田	日本	170	177	40	**387**	- 爱三工业株式会社 - 第一稀元素化学工业株式会社 - 第一精工 - 株式会社电装 - 杰富意钢铁株式会社 - 关西涂料株式会社 - 株式会社吴羽 - 日本斯频德制造株式会社 - 株式会社小原 - 松下 - 综研化学株式会社 - 东丽工程株式会社
185个新增条目						

技术决策树

技术决策树不应被认为是全面的，因为只涵盖了自 2019 年以来发布的新专利家族，而是希望作为新发明的灵感来源。与 2020 年版报告相比的添加/更改以红色显示。

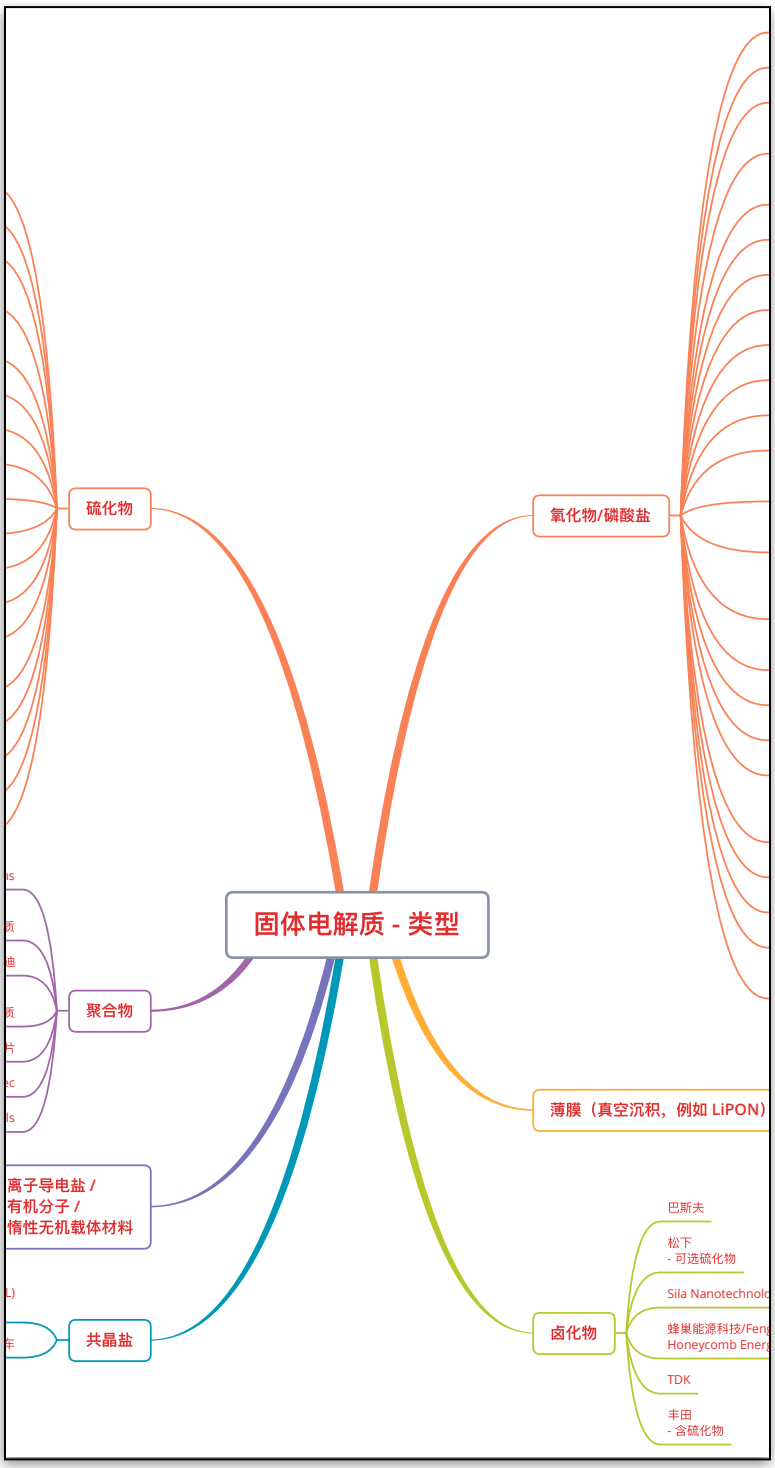
图 3 说明了氧化物/磷酸盐如何成为大多数公司都积极参与的固体电解质类别，主要专注于电子或电动汽车应用，其主要优势是有利的固有安全性（无有毒气体排放）。由于许多硫化物表现出高的锂离子电导率，许多参与者专注于以 EV 应用为重点的硫化物（表 6）。聚合物拥有有吸引力的成本，及具备易于扩大规模和生产的属性，但其往往受限于室温下的锂离子电导率。卤化物最近因其

© b-science.net LLC

全面的特性而受到越来越多的关注，这在最近的 Nature Communications 文章中也有所描述（最大的潜在弱点：原材料成本和加工）。

薄膜制造技术为微型电池（<1 毫米厚度）提供了非常有用的特性，具有良好的安全特性，但不能直接升级（在设备制造过程中使用真空技术）。LG 和 SES / GM 正在寻求的特殊方法在相应公司章节中有描述。

图 3： 技术决策树 - 固体电解质 - 类型



© b-science.net LLC

图 4： 技术决策树 - 固体电解质 - 概念
图 5： 技术决策树 - 固体电解质 - 结晶氧化物
图 6： 技术决策树 - 固体电解质 - 磷酸盐
图 7： 技术决策树 - 固体电解质 - 氧化物/氢氧化物玻璃
图 8： 技术决策树 - 固体电解质 - 硫化物
图 9： 技术决策树 - 固体电解质 - 减少硫化氢排放
图 10： 技术决策树 - 固体电解质 - 有机聚合物
图 11： 技术决策树 - 固体电解质 - 卤化物
图 12： 技术决策树 - 薄膜电池用固体电解质
图 13： 技术决策树 - 锂盐
图 14： 技术决策树 - 增塑剂
图 15： 技术决策树 - 液体电解质成分（不含增塑剂）
图 16： 技术决策树 - 固体电解质添加剂
图 17： 技术决策树 - 固体电解质粘合剂
图 18： 技术决策树 - 负极材料
图 19： 技术决策树 - 正极材料
图 20： 技术决策树 - 电极添加剂
图 21： 技术决策树 - 电极粘合剂
图 22： 技术决策树 - 电池设计
图 23： 技术决策树 - 电池设计 - 概念
图 24： 技术决策树 - 模块
图 25： 技术决策树 - 包装材料
图 26： 技术决策树 - 可靠性
图 27： 技术决策树 - 应用
图 28： 技术决策树 - 沉积工艺

技术差距评估 - 液体与半固体与固体电解质

如果性能安全特性或成本与应用的要求不符，则电池在商业上会失效。单方面的突出性能通常也不能弥补其最大的弱点。

© b-science.net LLC

表4：固有的安全风险

公司	可能影响安全性的组件	风险
10个条目		

表5：目标能量密度

公司（大约电池容量）	近似体积/重量能量密度（对于 >10 Ah 电池，除非另有说明）	正极	负极
8个条目			

表6：固体电解质的离子电导率；颜色标签：蓝色：基于氧化物/磷酸盐的电解质（可能含有聚合物）；咖啡色：基于硫化物的电解质（可能含有卤化物）；蓝绿色：基于卤化物的电解质；紫红色：基于聚合物的电解质

公司	可能的电解质	25°C时的近似锂离子电导率，除非另有说明
64个条目		

表7：长寿故障点

公司	潜在的失败点-长寿
9个条目	

表9：可能影响成本的原材料/工艺方面

公司	关键原料或工艺方面
19个条目	

公司评估

以下列出的专利家族，初始发布日期在2020-02-14之后（本评论的前一版截止日期）被标记为红色（本报告的截止日期：2021-06-03）。首次发布日期在2019-01-01年至2020-02-14之间的专利系列以黑色显示。2019-01-01年之前发布的专利系列在括号中与出版年份一起列出。部分“最新动态”和“最近公布的专利申请”涵盖了在上次报告（2020年4月）发布后新的事态发展。如果所有部分都发生了变化，“可能的电池特征”部分将标记为红色。否则，单个部分将标记为红色。 作者对专利的评论是紫褐色的。

© b-science.net LLC

测量的锂离子电导率是在25 ° C或室温下，除非另有说明。

潜在的固态锂离子电池供应商

蜂巢能源科技/Fengchao Energy Technology/Honeycomb Energy - 中国

组织概况

蜂巢能源 (https://www.svolt.cn/) 是一家锂离子电池制造商，于 2018 年从中国汽车制造商长城汽车分拆出来，将于 2021 年 6 月开始向其提供无钴 (NMx) 电池。据报道，收到一家欧洲汽车制造商 >7 GWh 的订单。 计划于 2023 年底在德国启动电池生产。

与其无钴 NMx 电池 (其能量密度为 245 Wh/kg 和非常有利的循环寿命，附加报告) 并行，蜂巢能源还开发了基于 NMCA 的电池。 近日，有消息称蜂巢能源于2021年4月开始量产无钴材料， 蜂巢能源计划2022年IPO， 蜂巢能源与杉杉合作，蜂巢能源目标电池产量从目前的100GWh/年增加到 2025 年的 200GWh /年。

独特的能力：独特的液固锂离子电池方法：固态电解质填充电极与液态电解质浸渍 PE 隔膜的组合。
信仰之跃：与全液态电解质和全固态电池相比，液固电池将具有足够的优势，以获得显着的市场份额。

可能的电池特性

- **电解质/隔膜层：**填充有EC/DEC/EMC（1:1:1体积比，1M $LiPF_6$）的PE隔膜。
- **负极（固体）：**石墨/CNTs/LLZO/PEO/LiTFSI/PTFE（83:2:5:4:1:5质量比）。
- **正极（固体）：**NMC111 / CNTs / LLZO / PAN / LiTFSI / PTFE（80 : 2 : 5 : 4 : 1 : 8 质量比）。
- **设计：**堆叠多层方形电池。
- **工艺特点：**电极浆料形成后刮刀。与传统液体电解质锂离子电池中的隔膜堆叠在一起。像当前锂离子电池那样的电解液填充步骤可能是必要的。

© b-science.net LLC

最新动态

2020 年 12 月的一份报告描述了蜂巢能源的 “半固态” 如何？果冻电池具有良好的安全性（刺穿时不冒烟/起火）、耐热性（150°C）和离子传导性（6 * 10^{-3} S/cm）特性，这与下面讨论的专利申请一致。

蜂巢能源将液体电解质填充的隔膜与固体电解质填充的电极相结合的方法是渐进的，同时具有高度创新性，可以在不显着改变电池制造程序的情况下获得固态电池的大部分好处（节省成本的例外）：电池化成步骤的显著缩短）。由于固体电解质与正极材料接触，Mn 浸出可能会得到缓解，这可能使富含 Mn 的高压正极材料具有有吸引力的原材料成本。关于负极，未来可能会采用具有较高 BET 表面积和较低生产成本的含硅活性材料。

同时，蜂巢能源 还评估硫化物和锂金属负极，这些负极可能与中间填充液体的隔膜不兼容。

最近公布的专利申请

一项关键专利（见第 2 级）描述了填充有 LLZO、聚合物和锂盐 LiTFSI 的正极和负极，它与填充液体电解质的隔膜相结合，可以实现蜂巢能源报告所描述的有利特性。
在其他专利申请中，基本都是硫化物电解质与离子导电聚合物相结合。

一般专利组合特征

蜂巢能源科技/Fengchao Energy Technology/Honeycomb Energy自2019年以来新增56个与固态电池相关的专利族。

专利组合示例

1级）电池材料和电极专利

- 固态电池极片及其制备方法和应用 (专利更新涵盖): 不是在电极形成过程中将固体电解质颗粒与正极活性材料颗粒混合，而是首先使用与液体类似的方法生产正极电解质电池：NMC811、Super P 导电炭黑（益瑞石石墨和碳）、PVDF（重量比为 92.3 : 5.7 : 2）。然后用基于含硅硫化物电解质和乙醇的浆料浸渍正极。与在正极浆料形成过程中最后添加 NMC811 的电极相比，在 0.33 C 充电/放电时观察到剥离强度和可逆容量方面的改进。
  当优化跨正极集流体、正极活性材料、导电碳渗透网络和固体电解质的粘附/内聚力时，本发明可以允许更多定制的选择。没有公开固体电解质粒度分布。可能需要小的固体电解质颗粒才能充分填充电极孔。

© b-science.net LLC

- 卤化钇锂的制备方法及其在固态电解质和电池中的应用：针对有利的离子导电性，优化了Li_3YCl_6的球铣削（氧化锆球，48小时）和烧结（高达630°C）条件（只给出了离子电导率范围：**$2*10^{-4}$ S/cm至10^{-2} S/cm**）。

2级）电池专利

- 适用于半固态电池的电极材料层、电极材料层的制备方法、电极板和半固态电池：**负极：**石墨/CNTs/LLZO/PEO/LiTFSI/PTFE（83：2：5： 4:1:5 质量比）。

  正极：NMC111 / CNTs / LLZO / 聚丙烯腈 (PAN) / LiTFSI / PTFE（80 : 2 : 5 : 4 : 1 : 8 质量比）。

  将正极和负极组装在填充有 EC/DEC/EMC（1:1:1 体积比，1 M $LiPF_6$）的 PE 隔膜的每一侧。

  这项概念上截然不同的工作是基于这样一种理解，即为了提高电池的安全性，固体电解质在正极附近最有效，尤其是在负极活性材料附近，在大约80-100°C分解时释放大量能量，它可以防止形成SEI 层。隔膜中采用液体电解质（已充分证明可以将电极分开），其中高离子电导率是最重要的。果冻电池具有良好的安全性（刺穿时不冒烟/起火）、耐热性（150°C）和离子电导率（6 * 10^{-3} S/cm）特性。
- 用于全固态锂金属负极电池的复合电解质膜及其制备方法，以及包括该复合电解质膜的全固态硫化物锂离子电池 (专利更新中已修正): 具有2层电解质的电芯。基于Li_6PS_5Cl/PVDF-HFP（重量比为 38.9:1，溶剂：环己酮，离子电导率：1.21 * 10^{-3} S/cm，在 55°C 下以 350 MPa 加压）制备固体电解质膜。制备了 PEO/LiTFSI（3:1 重量比，溶剂：乙腈）膜。基于 Li_2ZrO_3 涂层 NMC811 的正极面向硫化物膜，锂金属负极面向 PEO/LiTFSI 膜。观察到 60 °C 下100 次循环（0.1 C 充电/放电，电压未指定）后容量保持率为 82% 。

  这项工作说明了蜂巢能源如何在与负极的界面处部署 PEO / LiTFSI，并在与正极的界面处部署硫化物。重要的是要排除由于 PEO 的氧化 (如 Gasteiger 等人所确定的) 而导致硫化物形成硫。

专利分析方法与验证

此次报告的专利信息来源是欧洲专利局（EPO），涵盖了来自全球100多个专利局的180万项专利申请。在 1980 年至 2021 年 6 月 3 日（本次报告的截止日期）之间发布的 b-science.net 数据库中包含超过 210 万份专利文件，其标题或摘要中包含“电池”字样，或被分配到与储能相关的 CPC（合作专利分类）或 IPC（国际专利分类）代码之一：H01M（电池和燃料电池）或 H01G（电容器）。EPO 数据库中没有英文版的同族专利是谷歌机器翻译的（标题、摘要、申请人）。一些申请人的谷歌翻译被手动更正。使用基于标题、摘要、申请人和 IPC 分类的监督机器学习 (ML) 方法对 2019 年以来公布的所有同族专利进行了分析。ML 模型是为商业相关的锂离子电池固体/凝胶电解质定义的，其中包含数千个专利相关数据点。专利文件被分组到专利家族中，并使用 ML 模型进

© b-science.net LLC

行评分。ML 相关性分数截止值为40（100：非常相关，0：不相关）。手动检查 40-50 之间的分数，并在必要时消除假阳性。统计中只包括私营/商业公司。

机器学习方法已通过三井金属矿业株式会社公布的同族专利（2019 年至 2021-06-03）进行验证。42 个专利家族被手动归类为与固态锂离子电池具有商业相关性，11 个专利家族被手动归类为不相关。ML 相关性得分 >40 的 1 个专利族与固态锂离子电池（假阳性）无关。

缩略语表

AIBN	Azobisisobutyronitrile - 偶氮二异丁腈（聚合引发剂）
ASR	Area Specific Resistance - 区域电阻率
BET	Brunauer–Emmett–Teller （用于通过气体吸附测量确定表面积的理论）
BMS	Battery Management System - 电池管理系统
BOB	Bis(oxalato)borate - 双（草酸硼酸）硼酸酯（非配位阴离子）
bp	boiling point - 沸点
CC	Constant Current - 恒流
CMOS	Complementary Metal-Oxide-Semiconductor - 互补金属氧化物半导体
CV	Constant Voltage - 恒压
CVD	Chemical Vapor Deposition - 化学气相沉积
DBP	Dibutyl Phthalate - 邻苯二甲酸二丁酯（增塑剂）
DEC	Diethyl Carbonate - 碳酸二乙酯（液体电解质成分）
DMC	Dimethyl Carbonate - 碳酸二甲酯（液体电解质成分）
EBSD	Electron Backscatter Diffraction - 电子背散射衍射
EC	Ethylene Carbonate - 碳酸乙烯酯（液体电解质成分）
EDS	Energy-Dispersive X-ray Spectroscopy - 能量色散 X 射线光谱
EMC	Ethylmethyl Carbonate - 碳酸乙酯（液体电解质成分）
EMIM或EMI	1-Ethyl-3-methylimidazolium - 1-乙基-3-甲基咪唑鎓（离子液体阳离子）
EPMA	Electron Probe Microanalyzer - 电子探针微量分析仪
EV	Electric Vehicle - 电动汽车
FC	Fuel Cell - 燃料电池
FEC	Fluoroethylene Carbonate - 氟代碳酸亚乙酯（液体电解质成分）
FIB	Focused Ion-Beam - 聚焦离子束
FPFSI	$(FSO_2)(C_2F_5SO_2)N$ （非配位阴离子）
FSI	Bis(fluorosulfonyl)imide - 双（氟磺酰基）酰亚胺（非配位阴离子）

© b-science.net LLC

Ga-LLZO	例如$Li_{6.55}Ga_{0.15}La_3Zr_2O_{12}$（固体电解质）
HTPP	Trimethylolpropane Ethoxylate Triacrylate - 三羟甲基丙烷乙氧基化物三丙烯酸酯（紫外线固化单体）
IoT	Internet of Things - 物联网物联网
ITO	Indium Tin Oxide - 氧化铟锡
JV	Joint Venture - 合资企业
LAGP	例如$Li_{1.5}Al_{0.5}Ge_{1.5}(PO_4)_3$（固体电解质）
LATP	例如$Li_{1.3}Al_{0.3}Ti_{1.7}(PO_4)_3$（固体电解质）
LCO	Lithium Cobalt Oxide, $LiCoO_2$ - 钴酸锂（锂离子电池正极材料）
LFP	Lithium Iron Phosphate, $LiFePO_4$ - 磷酸铁锂（锂离子电池正极材料）
LiBON	Lithium Boron Oxynitride - 氮氧化锂硼（固体电解质）
LiPON	Lithium Phosphorus Oxynitride - 氮氧化锂磷（固体电解质）
LISICON	Lithium Super Ionic Conductor, 例如$Li_{3.5}Ge_{0.5}V_{0.5}O_4$（固体电解质）
LLTO或LLT	例如$La_{0.57}Li_{0.29}TiO_3$（固体电解质）
LLZ或LLZO	例如$Li_7La_3Zr_2O_{12}$（固体电解质）
LLZ-MgSr	例如$Li_{6.95}Mg_{0.15}La_{2.75}Sr_{0.25}Zr_{2.0}O_{12}$（固体电解质）
LLZNb或	
LLZNO	例如$Li_{6.8}La_3Zr_{1.8}Nb_{0.2}O_{12}$, $Li_{6.5}La_3Zr_{1.5}Nb_{0.5}O_{12}$（固体电解质）
LLZTO	例如$Li_{6.5}La_3Zr_{1.5}Ta_{0.5}O_{12}$（固体电解质）
LMO	$LiMn_2O_4$（正极材料）
LSTPS	例如$Li_{10}Si_{0.5}Sn_{0.5}P_2S_{12}$（固体电解质）
LTO	$Li_4Ti_5O_{12}$（负极材料）
LVP	$Li_3V_2(PO_4)_3$（正极材料）
MEEP	Poly[bis((methoxyethoxy)ethoxy)-phosphazene] - 聚[双（（甲氧基乙氧基）乙氧基）- 磷腈]（聚合物）
MLCC	Multilayer Ceramic Chip Capacitor - 多层陶瓷贴片电容器
MOF	Metal-Organic Framework - 金属有机框架
mp	melting point - 熔点
MPPY	Methylpropylpyrrolidinium - 甲基丙基吡咯烷鎓
NBR	Nitrile Rubber - 丁腈橡胶（粘合剂）
NCA	Lithium Nickel Cobalt Aluminum Oxide, $LiNiCoAlO_2$ - 锂镍钴铝氧化物（锂离子电池正极材料）
NMC	Lithium Nickel Cobalt Manganese Oxide, $LiNiCoMnO_2$ - 锂镍钴锰氧化物（锂离子电池正极材料）

© b-science.net LLC

PAA	Polyacrylic acid (ion conducting polymer, binder and pore former) - 聚丙烯酸（离子导电聚合物、粘合剂和成孔剂）
PAN	Polyacrylonitrile - 聚丙烯腈（锂离子导电聚合物/粘合剂）
PC	Propylene Carbonate - 碳酸丙烯酯（液体电解质成分）
PDMA	Pyromellitic Dianhydride (polymer precursor) - 均苯四酸二酐（聚合物前体）
PDMS	Polydimethylsiloxane - 聚二甲基硅氧烷（聚合物）
PEEK	Polyether Ether Ketone - 聚醚醚酮（聚合物）
PEG	Polyethylene Glycol (polymer) - 聚乙二醇（聚合物）
PEGA	Acrylamide-PEG (copolymer) - 丙烯酰胺-PEG（共聚物）
PEGDME	Polyethylene Glycol Dimethyl Ether - 聚乙二醇二甲醚（锂离子导电低聚物）
PEI	Polyetherimide (polymer) - 聚醚酰亚胺（聚合物）
PEO	Polyethylene Oxide - 聚环氧乙烷（锂离子导电聚合物）
PMMA	Poly(methyl Methacrylate) - 聚甲基丙烯酸甲酯（聚合物）
PP	Polypropylene - 聚丙烯
PPC	Polypropylene Carbonate - 碳酸丙二酯（锂离子导电聚合物）
PPO	Polyphenylene Ether - 聚苯醚（聚合物）
PPS	Polyphenylene Sulfide - 聚苯硫醚（聚合物）
PS	1,3-Propane Sultone - 1,3-丙烷磺内酯
PVA	Polyvinyl Alcohol - 聚乙烯醇（聚合物）
PVB	Polyvinyl Butyral - 聚乙烯醇缩丁醛（聚合物）
PVD	Physical Vapor Deposition - 物理气相沉积
PVDC	Polyvinylidene Chloride - 聚偏二氯乙烯（密封剂）
PVDF	Polyvinylidene Difluoride - 聚偏二氟乙烯（粘合剂）
PVDF-HFP	Poly(vinylidene Difluoride-co-hexafluoropropylene) - 聚偏二氟乙烯-共六氟丙烯（粘合剂）
PTC电阻器	Positive Temperature Coefficient Resistor - 正温度系数电阻
PTFE	Polytetrafluoroethylene - 聚四氟乙烯（粘合剂）
SBR	Styrene-Butadiene Rubber - 丁苯橡胶（粘合剂）
SEI	Solid Electrolyte Interphase - 固体电解质相（电极和电解质之间的中间层）
SMD	Surface-Mount Device - 表面贴装设备
SPAC	Special Purpose Acquisition Company - 特殊目的收购公司
SSA	Specific Surface Area - 比表面积（通常使用BET测量确定）
VGCF	Vapor Grown Carbon Fibers - 气相生长碳纤维（导电添加剂）

© b-science.net LLC

TEGDME	Tetraethylene Glycol Dimethyl Ether (also called G4) - 四乙二醇二甲醚（也称为 G4）
TFSI	Bis(trifluoromethane)sulfonimide - 双（三氟甲烷）磺酰亚胺（非配位阴离子）
TRL	Technology Readiness Level - 技术准备水平
WDS	Wavelength Dispersive X-ray Spectroscopy - 波长色散X射线光谱
WPPF	Whole Powder Pattern Fitting - 全粉图案配件
XPS	X-ray Photoelectron Spectroscopy - X射线光电子能谱

免责声明

我们致力于倾听并为储能社区提供高品质的服务，但我们不能保证我们的服务都是准确无误的。b-science.net LLC 及其附属公司不承担所有的保证和责任。请查看我们的条款和条件和隐私政策，适用于本文档。

此服务可能包含由 GOOGLE 提供支持的翻译。GOOGLE 对本翻译不提供任何明示或暗示的保证，包括对准确性或可靠性的任何保证，以及对适销性，针对特定用途的适用性和无侵权性的任何暗示保证。